

УДК 504.4.054

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ВСПУХАНИИ АКТИВНОГО ИЛА

Соловьёва А.С.<sup>1</sup>, Сакаева Э.Х.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, г. Пермь

**Ключевые слова:** хлорелла, ферменты, сточная вода, целлюлозно-бумажная промышленность, биологическая очистка, активный ил, вспухание активного ила, гидробиологический анализ.

**Аннотация.** Спецификой сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности является высокое содержание трудноокисляемых органических соединений. Очистка сточных вод на предприятиях целлюлозно-бумажной отрасли осуществляется биохимическим методом в аэротенках, при этом часто возникает проблема вспухания активного ила. В целях преодоления данной проблемы было рассмотрено применение ферментных препаратов при нитчатом вспухании активного ила и применение одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании. Доказано положительное влияние Фермента 1 и Фермента 2 на биоценоз активного ила при борьбе с нитчатым вспуханием, а также положительное влияние хлореллы на биоценоз активного ила при борьбе с гелевым вспуханием.

## INTENSIFICATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PULP AND PAPER INDUSTRY IN SWELLING OF ACTIVATED SLUDGE

Solovyova A.S.<sup>1</sup>, Sakaeva E.K.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm

**Key words:** chlorella, enzymes, wastewater, the Pulp and Paper Industry, biological treatment, activated sludge, swelling of the activated sludge, hydrobiological analysis.

**Abstract.** The specificity of waste water pulp and paper industry is a high content of hard-to-oxidize organic compounds. Wastewater treatment in the pulp and paper industry is carried out by biochemical method in aerotank, and often there is a problem of swelling of activated sludge. In order to overcome this problem, the use of enzyme preparations for filamentous swelling of activated sludge and the use of unicellular algae *Chlorella vulgaris* in gel swelling were considered. The positive effect of Enzyme 1 and Enzyme 2 on the biocenosis of activated sludge in the fight against filamentous swelling, as well as the positive effect of *Chlorella* on the biocenosis of activated sludge in the fight against gel swelling.

Целлюлозно-бумажное производство (ЦБП) – одна из лидирующих отраслей промышленности по объему образования сточных вод (СВ). Высокий объем образования СВ определяет специфика технологического процесса, в среднем на производство одной тонны продукции ЦБП требуется 350 м<sup>3</sup> воды [1]. СВ ЦБП характеризуются высокими показателями БПК и ХПК, высоким содержанием жирных и смоляных кислот, сернистых соединений, лигнина и его производными, а также содержанием взвешенных веществ (частицы коры, волокна целлюлозы, минеральные частицы) [2]. Ввиду высокой биоокисляемости многих компонентов для очистки СВ ЦБП широко применяют метод биологической очистки в аэротенках. Часто предприятия ЦБП оснащены биологическими очистными сооружениями (БОС).

Метод биологической очистки СВ основан на способности микроорганизмов окислять растворенные в СВ органические соединения. При этом изменение компонентного состава СВ или залповые сбросы больших объемов стоков влекут за собой нарушение условий обитания микроорганизмов активного ила (АИ). Наиболее часто на предприятиях ЦБП встречается проблема вспухания АИ, т.е. нарушения внутреннего динамического равновесия в эко-

системе ила и формирование более примитивного, но устойчивого к данным условиям биоценоза. В результате обеднения видового состава значительно ухудшается качество очистки СВ. На практике при очистке СВ ЦБП определяется как нитчатое, так и гелевое вспухание АИ. При нитчатом вспухании биоценоз АИ в большинстве представлен организмами нитчатой формы, актиномицетами и микроскопическими грибами. Гелевое вспухание характеризуется избыточным количеством экзополимерного геля, который выделяют сапрофитные бактерии для налаживания механизма деструкции трудноокисляемых соединений, и легко диагностируется при микроскопировании АИ, часто его вызывают бактерии *Zoogloea ramigera* [3]. Подавление вспухания АИ и улучшения его биоценоза при очистке стоков ЦБП является актуальной эколого-технологической задачей.

Известными способами интенсификации процесса очистки СВ на БОС ЦБП при вспухании АИ является применение ферментных препаратов и использование питательного субстрата водоросли *Chlorella vulgaris*.

Целью исследований являлась оценка возможности использования различных ферментных препаратов для подавления нитчатого вспухания АИ и субстрата одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* для подавления гелевого вспухания.

Экспериментальное исследование было проведено в два этапа:

1. Оценка возможности использования ферментных препаратов при нитчатом вспухании активного ила;
2. Оценка возможности использования одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании активного ила.

На первом этапе исследований были рассмотрены 2 биопрепарата, представляющих собой смесь порошковых ферментов и бактерий, стабилизаторов, питательных веществ и минералов [4]. Оценку эффективности применения биопрепаратов для борьбы с нитчатым вспуханием проводили по технологическим параметрам (динамика оседания АИ, иловый индекс, доза ила по массе и по объему) и гидробиологическим показателям. Для экспериментальных исследований были выбраны минимальные и максимальные дозы биопрепаратов, согласно паспортам на биопрепараты. Экспериментальные исследования проводили в лабораторных аэротенках с использованием АИ подверженного нитчатому вспуханию и СВ с БОС одного из предприятий ЦБП Пермского края. Время контакта СВ с АИ в аэротенке составило 20 и 40 часов.

Для определения влияния ферментных препаратов на технологические параметры АИ в процессе очистки СВ контролировали следующие показатели: динамику оседания АИ, дозу АИ по массе и объему, а также определяли иловый индекс. В таблице 1 представлена характеристика гидрохимических показателей АИ.

Таблица 1 – Характеристика активного ила по гидрохимическим показателям

Образец (доза фермента)	Исходный АИ			20 часов			40 часа		
	Доза ила по массе, г/л	Доза ила по объему, мл/л	Иловый индекс, мл/г	Доза ила по массе, г/л	Доза ила по объему, мл/л	Иловый индекс, мл/г	Доза ила по массе, г/л	Доза ила по объему, мл/л	Иловый индекс, мл/г
Фермент 1 (min)	2,4	89	371	2,5	35	140	2,3	79	343
Фермент 1 (max)	2,4	89	371	2,4	47	196	2,1	36	171
Фермент 2 (min)	2,3	89	387	2,4	58	242	2,3	70	304
Фермент 2 (max)	2,3	89	387	2,3	63	274	2,3	73	317
Холостая (без добавления фермента)	2,4	89	371	2,5	65	260	2,4	62	258

Наилучшая динамика оседания АИ наблюдалась через 20 часов экспозиции при применении Фермента 1 в минимальной (35 мл/л) и максимальной (47 мл/л) дозе. Через 40 часов экспозиции динамика оседания вернулась на первоначальный уровень, кроме пробы, обработанной Ферментом 1 в максимальной дозе (36 мл/л).

Иловый индекс характеризует седиментационные свойства ила с учетом его сухой массы. Оптимальное значение илового индекса составляет от 80 до 120 см<sup>3</sup>/г. Диапазон допустимых значений – от 60 до 150 см<sup>3</sup>/г [5]. Как показал анализ результатов, значения илового индекса исходного АИ имеют значительные превышения над допустимыми, что свидетельствует о низких седиментационных свойствах АИ и подтверждает нитчатое вспухание. Спустя 20 часов после обработки ферментным препаратом значение илового индекса значительно снижалось в пробах, обработанных Ферментом 1, однако спустя 40 часов экспозиции значительное снижение илового индекса по сравнению с исходными значениями отмечалось только в пробе обработанной Ферментом 1 в максимальной дозе и составило 171 мл/г.

Для оценки влияния ферментных препаратов на биоценоз АИ ежедневно проводили микроскопирование проб АИ. Количественный учет проводили по пятибалльной шкале: 1 – единично, 2 – мало, 3 – порядочно, 4 – много, 5 – масса. По результатам контроля гидробиологических показателей было установлено, что в пробах, обработанных ферментными препаратами в минимальной и максимальной дозе, наблюдалось улучшение биоценоза АИ, а именно снижение числа микроскопических грибов и актиномицетов, уплотнение хлопьев АИ и появление различных видов простейших. Микробиологический состав исходного АИ и АИ после обработки ферментными препаратами представлены на рисунке 1.

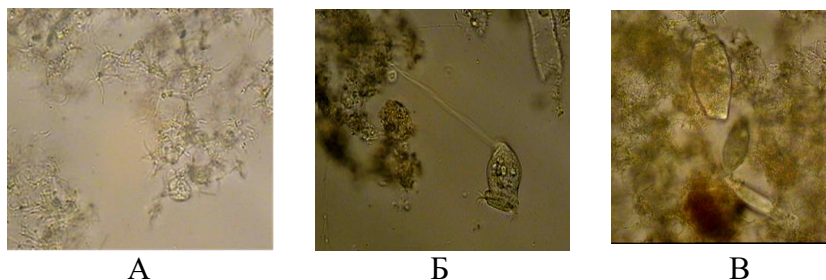


Рисунок 1 – Изменение биоценоза АИ после обработки ферментами: А - хлопок исходного АИ с нитчатым вспуханием; Б,В – появление простейших: инфузория р. *Vorticella* и колониальные инфузории р. *Opercularia* соответственно

При применении Фермента 1 обнаружены бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (2б), инфузории р. *Colpidium* (1б), р. *Paramecium* (1б), р. *Opercularia* (1б). При обработке Ферментом 2 - бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (1б), инфузории р. *Colpidium* (2б). В холостой пробе без обработки ферментными препаратами хлопья АИ рыхлые, с большим количеством нитей микроскопических грибов и актиномицетов и отсутствием простейших микроорганизмов.

При применении Фермента 1 обнаружены бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (2б), инфузории р. *Colpidium* (1б), р. *Paramecium* (1б), р. *Opercularia* (1б). При обработке Ферментом 2 - бесцветные жгутиконосцы р. *Bodo* (1б), инфузории р. *Colpidium* (2б). В холостой пробе без обработки ферментными препаратами хлопья АИ рыхлые, с большим количеством нитей микроскопических грибов и актиномицетов и отсутствием простейших микроорганизмов.

На втором этапе исследования оценивали эффективность применения микроводоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании АИ. *Chlorella vulgaris* является одноклеточным фотосинтезирующим микроорганизмом. Для стабильной жизнедеятельности хлореллы требуются свет, вода, диоксид углерода, минеральные вещества и кислород. Основная роль хлореллы в процессе биологической очистки СВ сводится к поглощению и накоплению токсиантов, а также выполнению функции питательного субстрата для гетеротрофных микроорганизмов [6].

Для оценки эффективности применения одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при борьбе с гелевым вспуханием АИ были проведены экспериментальные исследования в лабораторных азротенках с использованием АИ с БОС ЦБП, подверженного гелевому вспуханию, и СВ одного из предприятий ЦБП Пермского края. Доза субстрата одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* составила 100 мл/л при его оптической плотности 1,4 – 1,6.

По результатам анализа седиментационной характеристики АИ спустя 20 и 40 часов после его контакта с субстратом одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* установлено, что хлорелла оказывает положительное влияние на динамику оседания АИ.

Спустя 20 часов экспозиции динамика оседания АИ с добавлением хлореллы не имеет значительных изменений по сравнению с динамикой оседания АИ без обработки, однако спустя 40 часов экспозиции можно отметить значительные улучшения динамики оседания АИ обработанного хлореллой. Динамика оседания исходного АИ и АИ с добавлением хлореллы спустя 20 и 40 часов после контакта с субстратом представлена на рис.2.

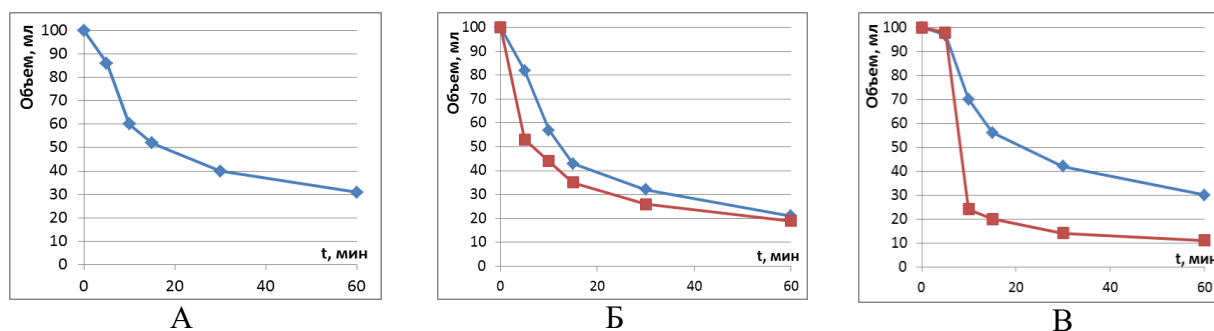


Рисунок 2 – Динамика оседания за 60 минут: А – исходного АИ, Б – АИ спустя 20 часов экспозиции, В – АИ спустя 48 часов экспозиции

Для оценки эффективности применения одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании АИ по гидробиологическим показателям ежедневно проводили микроскопирование проб АИ. По результатам контроля гидробиологических показателей было установлено, что в пробах с добавлением хлореллы наблюдалось улучшение биоценоза и постепенное снижение гелевого вспухания АИ, а именно: появление различных видов простейших, уплотнение хлопка АИ, подавление развития бактерий *Zoogloea ramigera* и их полное вымещение различными видами простейших. Микробиологический состав исходного АИ и АИ после обработки хлореллой представлены на рисунке 3.

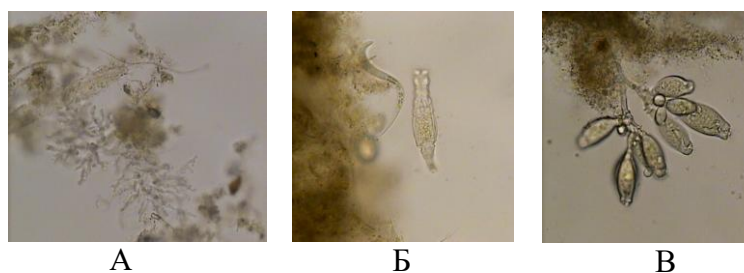


Рисунок 3 – Микробиологический состав активного ила: А - бактерия *Zoogloea ramigera* в исходном АИ с гелевым вспуханием, Б – червь р. *Nematodes* и колдовратка в АИ после обработки субстратом хлореллы, В – колониальные инфузории р. *Opercularia* в АИ после обработки субстратом хлореллы.

Спустя 20 часов после контакта АИ, подверженного гелевому вспуханию, с субстратом одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* были обнаружены: жгутиконосцы р. *Bodo* (26), инфузории р. *Aspidisca* (26) и р. *Opercularia* (26), колдовратки, также отмечалось присутствие значительного количества бактерий *Zoogloea ramigera*. Спустя 40 часов после контакта были обнаружены: жгутиконосцы р. *Bodo* (26), инфузории р. *Aspidisca* (26), р. *Litonotus* (16), кол-

лонияльные инфузории р. *Opercularia* (3б), коловратки, червь р. *Nematodes*. При этом спустя 40 часов после контакта пробы с субстратом одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* бактерий *Zoogloea ramigera* обнаружено не было, хлопок АИ стал более плотным, свободных бактерий нет. В холостой пробе без добавления субстрата водоросли *Chlorella vulgaris* как спустя 20 часов, так и спустя 40 часов экспозиции гелевое вспухание АИ наблюдалось по-прежнему: хлопья АИ остались рыхлыми, наблюдалось практически полное отсутствие простейших и массовое развитие бактерий *Zoogloea ramigera*.

Проведенные эксперименты позволили сделать следующие выводы:

1. Использование ферментных препаратов при нитчатом вспухании АИ позволяет улучшить качество АИ по технологическим параметрам (седиментационная характеристика, снижение дозы ила до допустимых значений) и гидробиологическим показателям (увеличение разнообразия биоценоза АИ);
2. По результатам экспериментальных исследований можно рекомендовать Фермент 1 в максимальной дозе для борьбы с нитчатым вспуханием АИ на БОС ЦБП;
3. Использование одноклеточной водоросли *Chlorella vulgaris* при гелевом вспухании АИ позволяет улучшить качество АИ по седиментационным характеристикам и гидробиологическим показателям (увеличить разнообразие биоценоза), а также постепенно исключить гелевое вспухание АИ.

### Список литературы

1. Техническая рабочая группа № 1 (ТРГ-1) «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона». Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. Москва Бюро НДТ, 2015.
2. Ragunathan R., Swaminathan K. Biological treatment of a pulp and paper industry effluent by *Pleurotus* spp. // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. June 2004.
3. Никитина, О.Г. Типы хлопьев активного ила // Новые направления в технологии, автоматизации и проектировании водоснабжения и водоотведения. – М.: Мосводоканал НИИ проект, 1991. – С. 40-45.
4. Болотова К.С., Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства // *Химия растительного сырья* 2015 №3 С.5-23.
5. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками/Н.С. Жмур – М.: Акварос, 2003. – 370 с.
6. Старовойтов С.В., Халил А.С. Влияние внешних факторов на скорость биохимических реакций микроводорослей // *ИВД*. 2017. №2 (45).

УДК 676.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ

Теплоухова М.В.<sup>1</sup>, Артемьева А.В.<sup>1</sup>, Андраковский Р.Э.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Пермский национальный исследовательский  
 политехнический университет, г. Пермь

**Ключевые слова:** макулатурная масса, связующие вещества, бумага для гофрирования, электрокинетические параметры, показатели прочности бумаги, деформационные свойства.

**Аннотация.** Исследовано влияние катионных полимерных добавок на прочность бумаги для гофрирования, изготовленной из макулатурной массы. В качестве добавок были использованы катионный крахмал и Fennobond 3300E.